



Estimation de l'influence de l'état hydrique des chaussées sur l'adhérence des pneumatiques

alex coiret, Jaonasy-Michel Rakotondrasolo

► To cite this version:

alex coiret, Jaonasy-Michel Rakotondrasolo. Estimation de l'influence de l'état hydrique des chaussées sur l'adhérence des pneumatiques. journées des sciences de l'ingénieur 2003, Dec 2003, Dourdan, France. ⟨hal-04443558⟩

HAL Id: hal-04443558

<https://hal.science/hal-04443558v1>

Submitted on 7 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

ESTIMATION DE L'INFLUENCE DE L'ETAT HYDRIQUE DES CHAUSSEES SUR L'ADHERENCE DES PNEUMATIQUES

Alex Coiret, Jaonasy-Michel Rakotondrasolo
Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Ger/Scdv, Nantes.

Résumé

L'adhérence d'un pneumatique sur une chaussée est fortement conditionnée par la présence d'eau ou d'autres polluants à l'interface de contact. Si l'altération de l'adhérence par temps de pluie est un phénomène bien perçu par l'ensemble des usagers de la route, elle est souvent sous-estimée pour les périodes de chaussée humide, qui succèdent à un événement pluvieux. Diverses études, comme l'étude récente PREDIT APTP¹ montrent que les chaussées sont statistiquement humides pour une période triple de celle correspondant strictement aux précipitations. Cet article présente dans un premier temps, différents moyens exploités au LCPC pour estimer les états hydriques des chaussées. En particulier, des évaluations de ces états hydriques sont effectuées par spectroscopie optique. Dans un deuxième temps, le rapport de ces niveaux de hauteur d'eau à l'adhérence d'un indicateur conventionnel (grip-tester) est confronté à des relations issues de la bibliographie.

1 Introduction

L'adhérence mobilisable d'un pneumatique sur une chaussée est définie par le rapport des efforts tangentiels à l'effort normal. Les manœuvres de freinage (accélération) et de braquage, essentielles à la conduite en sécurité, sont permises par l'exploitation respective des efforts tangentiels longitudinaux et transversaux, qui se développent dans l'aire de contact pneumatique/chaussée.

Les systèmes d'aide à la conduite tels que les anti-bloquants ABS ou correcteurs de trajectoire ESP n'entrent en action que lorsqu'une perte d'adhérence a été décelée. De nombreuses recherches portent sur la détermination préventive du risque de perte d'adhérence (Pohl *et al.*, 1999). On conçoit l'intérêt applicatif d'un système de détermination anticipée de perte d'adhérence. Embarqué dans un véhicule, le système pourrait avertir le conducteur du risque encouru ou activer d'autres systèmes destinés à maintenir la contrôlabilité du véhicule (pré-correction ESP, limitation d'allure...). Cet article présente les techniques d'évaluation des états de mouillage des chaussées. En particulier, la technique spectrométrique infrarouge permet de couvrir une large plage d'états hydriques et est adaptée à la mesure depuis un véhicule en ordre de marche. On évaluera aussi la pertinence de la mesure des états hydriques à l'estimation d'un niveau de dégradation de l'adhérence.

2 Evaluation expérimentale des états hydriques des chaussées

2.1 Observables

L'état hydrique d'une chaussée est une notion générique large : les états sec, humide, mouillé, saturé et ruisselant en sont des descriptions subjectives plus précises, que l'on souhaite souvent quantifier par des mesures numériques (on utilisera alors les termes de "hauteur d'eau" ou d' "épaisseur de film d'eau"). A

¹ Accidents par temps de pluie : " demande et offre d'adhérence ", étude pilotée par M. Delanne, LCPC Nantes.

titre indicatif, on pourra retenir (Yager *et al.*, 1970): état humide : coloration altérée, moins d'un centième de pouce de hauteur d'eau (jauge NASA) ; état mouillé : hauteur d'eau comprise entre un centième et un dixième de pouce ; état ruisselant : plus d'un dixième de pouce de hauteur d'eau.

La difficulté de l'estimation d'un état hydrique tient principalement à la variété et à la non-uniformité des revêtements routiers. Les différences de texture (bétons de ciment ou enrobés bitumineux, semi-grenus, drainants...) et les irrégularités géométriques conduisent à des états hydriques très variables sur un revêtement (ornières). L'estimation dépend aussi de l'échelle choisie : pour un pneumatique, si la surface de contact est de l'ordre du dm^2 en un instant donné, elle coïncide à plusieurs mètres carrés de chaussée lors du déplacement d'un véhicule.

2.2 Diversité des moyens d'observation

Les moyens de mesures des états hydriques sont variés. Le "limnimètre" développé par le LCPC effectue une mesure ponctuelle (1mm^2). Au cours d'un mouvement vertical descendant, en direction d'un sol recouvert d'une certaine quantité d'eau, un couple d'aiguilles permet la détection de la surface liquide par fermeture d'un circuit électrique, puis de la surface solide du sol par contrainte mécanique (*cf* figure 1). Une hauteur de référence est préalablement définie comme la surface de contact d'un disque de verre de 65mm de diamètre avec les plus hauts granulats du revêtement. La mesure, d'une précision d' $1/10^{\circ}$ de millimètre, nécessite toutefois un délai de 30 secondes.

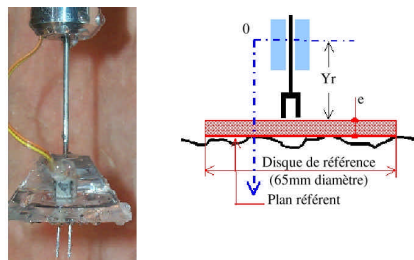


Figure 1 – Élément de mesure d'un limnimètre et principe de référence géométrique aux plus hauts granulats

Les méthode de prélèvement concernent plusieurs dizaine de centimètres carrés. Pour la méthode expérimentée au LCPC (Laganier, 1999) le volume prélevé est rapporté à la surface concernée pour être traduit en hauteur moyenne. La méthode est néanmoins à réserver aux films d'épaisseur constante. Sa précision est d'un dixième de millimètre environ, mais relativement à une hauteur d'eau "équivalente" : l'eau contenue dans la macrotexture est prise en compte.

Les sondes à neutrons ne sont plus utilisées au LCPC. Leur surface d'estimation est de l'ordre du dm^2 . Ces "humidimètres neutroniques" mesurent l'humidité volumique du sol en utilisant la propriété qu'ont les neutrons rapides à être ralentis préférentiellement par les atomes d'hydrogène. Une fois émis par la source radioactive, les neutrons rapides entrent en collision avec les noyaux d'hydrogène et perdent ainsi leur énergie cinétique lors des chocs élastiques. Une certaine proportion retourne vers la sonde où ils sont comptés pendant un temps déterminé (de l'ordre de la minute).

L'analyse d'images peut permettre une évaluation de grande surface (m^2) mais ne donne en général qu'une indication binaire d'état (sec/mouillé). Enfin, le système allemand « aquasens », qui va être présenté plus en détail, effectue une mesure instantanée sur un disque de 15cm de diamètre.

2.3 Système spectroscopique embarquable

2.3.1 Principe de mesure

La technologie du capteur aquasens retenu est basée sur les propriétés d'absorption spécifiques de l'eau pour des rayonnements situés dans le proche infrarouge (Holzwarth et Eichhorn, 1993). L'absorption

radiative différentielle de l'eau est exploitée entre 1 et 2 μm . Pour une épaisseur d'eau x et une longueur d'onde λ , le flux transmis est donné en fonction du flux incident f_0 par :

$$f_{trans} = f_0 e^{-b_\lambda x} \quad (1)$$

(b_λ : coefficient de transmission relatif à la longueur d'onde λ ; voir figure 2a. Exemple pour un film d'eau de 0,4mm d'épaisseur en figure 2b).

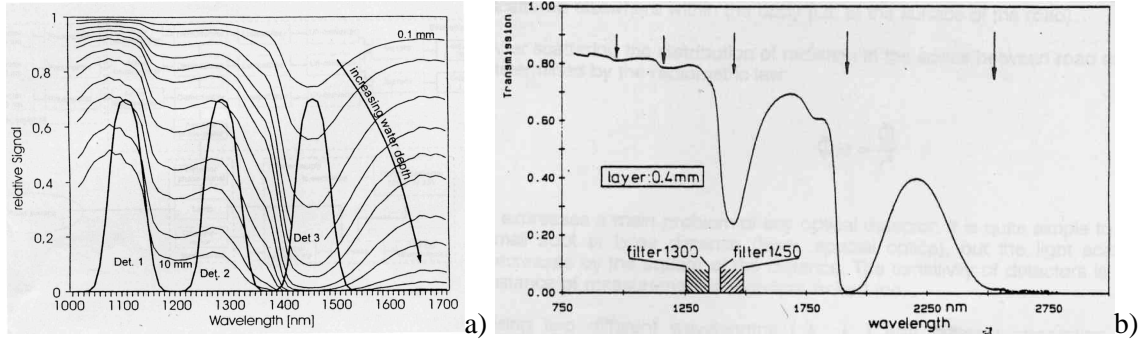


Figure 2 – a) rapport de transmission de signal (émission/réception) en fonction de la longueur d'onde (nm) pour différentes épaisseurs de film d'eau (courbes isovaleur, mm) b) cas d'un film d'eau de 0,4mm d'épaisseur.

Pour deux bandes de transmission différentes, la comparaison des bilans radiatifs traversant la couche d'eau et renvoyés vers le capteur donne une indication directe sur l'épaisseur x de l'eau traversée :

$$x \approx \frac{\ln \left[\frac{f_{det1450}}{f_{det1300}} \right]}{2(b_{1300} - b_{1450})} \quad (2)$$

Le système spectroscopique détermine une hauteur d'eau d'après (2), par émission d'un rayonnement plat dans les longueurs d'ondes de 1 à 2 μm et par mesure des flux renvoyés sur différentes longueurs d'ondes (principe en figure 3a). Les niveaux détectés dans les bandes centrées en 1080nm et 1450nm sont rapportés au niveau de référence (bande 1300nm) pour les calculs respectifs des niveaux d'eau sur deux étendues de mesure : "0 à 10mm" et "0 à 1mm".

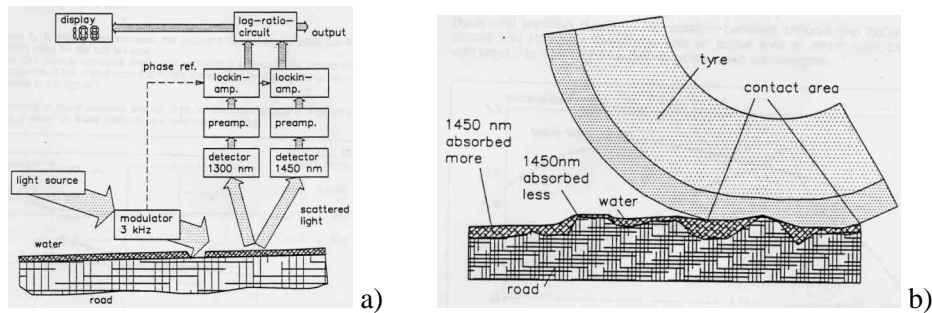


Figure 3 – a) fonctionnement b) seuil de détection du capteur - volumes d'eau mobilisés en adhérence

2.3.2 Correspondance en termes de hauteur d'eau

Si la zone de mesure est partiellement couverte d'eau, le signal correspondant aux zones sèches devient prépondérant. Ceci résulte de la faible quantité de flux renvoyée par les parties mouillées par rapport à celle correspondant aux parties sèches (figure 3b). Cette "orientation" est adaptée à la représentation de l'adhérence dont les mécanismes exploitent principalement les parties hautes des granulats.

2.3.3 Mesures en positionnement statique

Des essais comparatifs entre le capteur optique et des limnimètres ont été effectués pour 5 formulations de plaques d'essais différentes. Les différences de mesures pour 0.5 à 5mm d'eau sont imputables aux différences d'étendue (et non planéité) des surfaces prises en compte. Le capteur aquasens présente une non-linéarité pour les hauteurs d'eau supérieures à 5mm (sous-estimation logarithmique, figure 4).

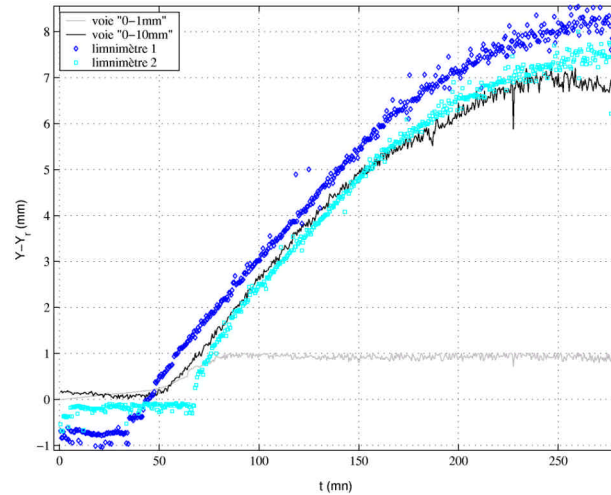


Figure 4 – Hauteurs d'eau mesurées lors d'un épisode de pluie artificielle (plaque d'enrobé référence F10)

Enfin, les niveaux mesurés par le capteur aquasens inférieurs à 0.5mm ne peuvent pas être évalués par les limnimètres. L'eau liée aux granulats et l'eau incluse dans les lacs inter-granulaires est prise en compte par le capteur optique. Il serait ici plus juste de parler de volumes d'eau mesurés. Pour ces faibles niveaux nous préférons (cf partie 3) une relation directe à l'adhérence.

2.3.4 Exploitation en situation embarquée

Des mesures ont été réalisées avec un capteur aquasens fixé sur un véhicule en mouvement de translation par rapport à une plaque d'essai inclinée, partiellement recouverte d'eau. Des vitesses relatives de 2 à 110 km/h ont montré une invariance des niveaux d'eau mesurés (figure 5) avec une précision d'environ 5% (écarts transversaux du profil de mesure, associés à un plan transversal de la plaque "en cuvette"). On note toujours une sous-estimation logarithmique des niveaux pour $h > 5\text{mm}$.

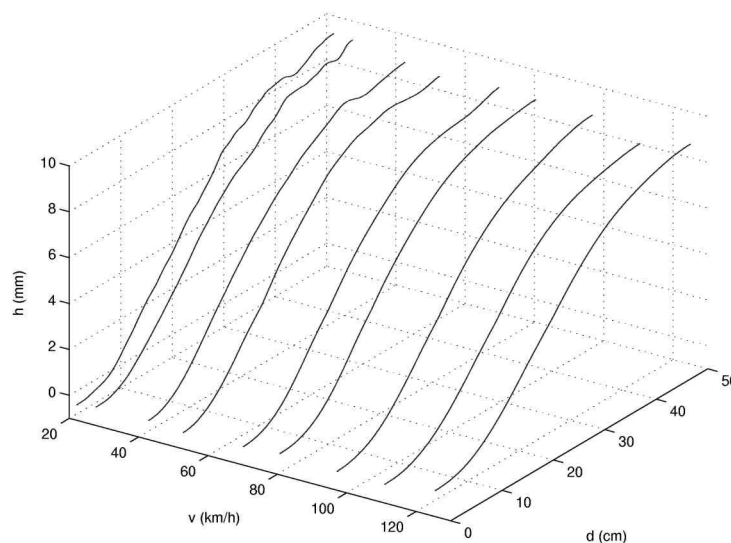


Figure 5 – hauteurs d'eau mesurées h (mm) en fonction de la vitesse v (km/h) de déplacement relative et de la position longitudinale d (cm) sur la plaque partiellement immergée.

3 Niveau d'adhérence en fonction des états hydriques

Les faibles hauteurs d'eau, jusqu'au concept de simple lubrification, ne sont pas quantifiables par les matériels habituels du LCPC. Nous avons souhaité vérifier si le capteur aquasens permettait la différenciation de plusieurs états de mouillage lors du séchage ultime d'un revêtement. Le mouillage des quatre revêtements a conduit à une hauteur d'eau initiale moyenne de 1mm. Des mesures d'adhérence par grip-tester et de niveau d'eau (aquasens) sont poursuivies jusqu'à assèchement complet (figure 6a et 6b).

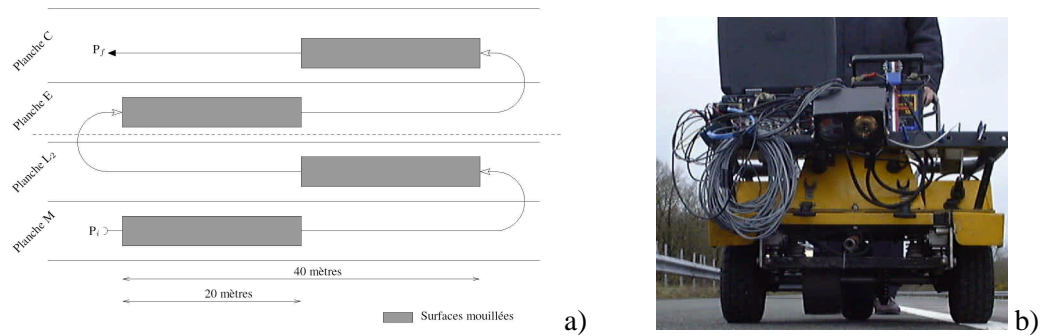


Figure 6 – a) Parcours sur les 4 revêtements choisis b) dispositif expérimental : capteur aquasens (projecteur et récepteurs accolés) monté sur un grip-tester

Les résultats de l'essai sont regroupés en figure 8. En abscisse est porté l'assèchement relatif à la hauteur d'eau initiale ; l'axe des ordonnées indique le "Grip Number" égal au rapport de la force longitudinale à la force verticale F_x / F_v .

Pour l'ensemble des planches d'essais, l'état mouillé/humide est associé à un niveau dégradé constant de l'adhérence sur une durée d'au moins trois quarts d'heure. Cette constance dénote l'existence d'une hauteur d'eau critique au dessus de laquelle le niveau d'adhérence est invariant (dans la limite de l'apparition du phénomène d'hydroplanage). Ce résultat est en accord avec de nombreuses recherches (Kulakowski et Harwood, 1990 ; Meyer *et al.*, 1974, cf figure 7b).

Excepté pour la planche M, insuffisamment asséchée, les niveaux d'adhérence croissent à partir de 70 à 90% d'assèchement réalisé, jusqu'à l'état sec. Les rapports entre les niveaux d'adhérence dégradés et optimaux sont compris entre 68 et 88% environ. En comparaison, une étude (Comfort, 1998) avec un grip-tester sur piste aéronautique a conduit à un ratio élevé de 28% (figure 11a, revêtement à faible macrotexture sans doute). L'usage d'un pneumatique sculpté ramène ce ratio à 80%, ce qui confirme l'intérêt (compensateur) des pneumatiques sculptés sur revêtements à faible macrotexture.

Il est intéressant de noter que plus la macrotexture est faible (ex : planche L2, figure 8), plus le point de transition de recouvrement de l'adhérence correspond à un niveau d'assèchement élevé. Une surface lisse, associée au pneumatique lisse du grip-tester, ne permet pas un bon drainage de l'eau et n'autorise donc qu'une récupération tardive de l'adhérence, pour des quantités d'eau très faibles.

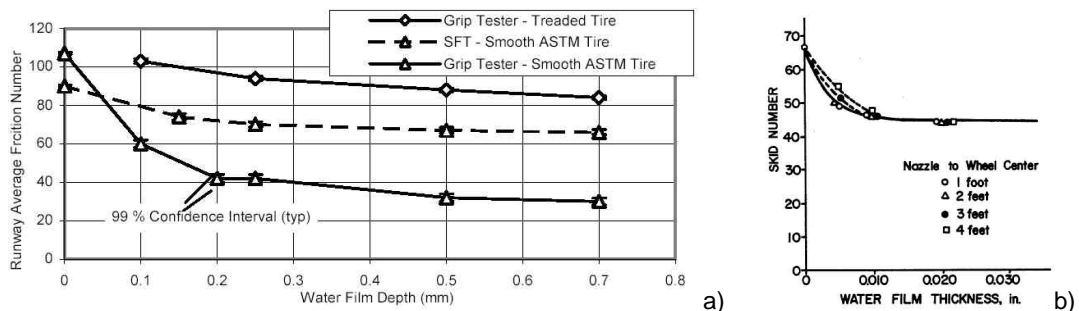


Figure 7 – a) importance du type de pneumatique (Comfort, 1998) b) hauteur d'eau critique (Meyer *et al.*, 1974)

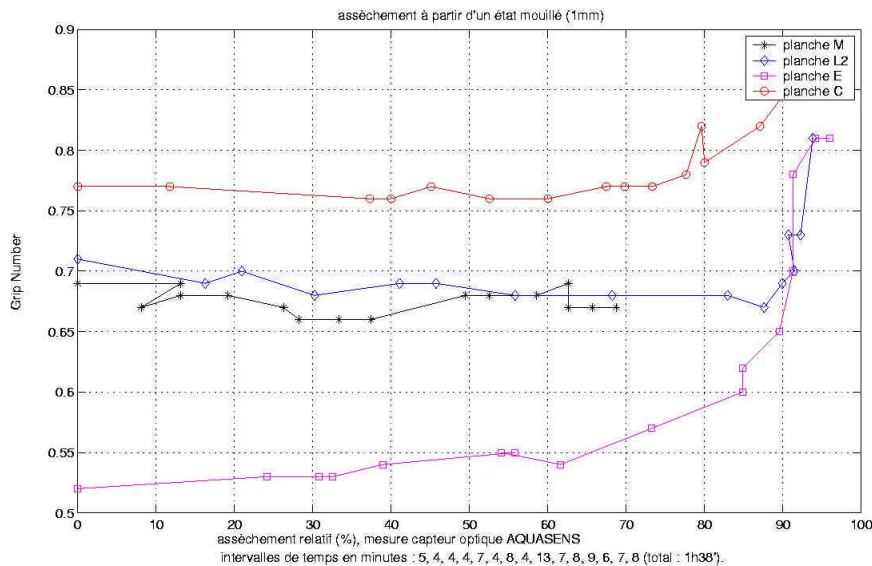


Figure 8 – Evolution du niveau d'adhérence en fonction de l'assèchement mesuré des revêtements

4 Conclusions

Le capteur optique aquasens permet une mesure de différents états hydriques entre le plus faible niveau d'eau et l'état sec, auxquels on associe respectivement l'état d'adhérence dégradé (constant) et l'état sec optimal. Il peut donc potentiellement servir d'indicateur d'altération de l'adhérence, pour une surface donnée. Cet article rappelle que le niveau d'adhérence peut être dégradé significativement en présence d'un revêtement simplement humide. La dégradation est même indépendante des hauteurs d'eau rencontrées pour peu que les conditions d'hydroplannage ne soient pas approchées (forte vitesse de déplacement du véhicule, faible capacités conjuguées de drainabilité pneumatique/macrotecture).

5 Références

- Coiret A., Delanne Y. (2002) Mesure dynamique sans contact des hauteurs d'eau sur chaussées pour l'estimation de l'adhérence mobilisable, *Rapport technique, programme Predit2, sujet APTP*, 46p.
- Comfort G. (1998) Investigation of Friction Standards for Wet Runway Pavements, *Fleet Technology Ltd. report 4793 submitted to the Aerodrome Safety Branch of Transport Canada*.
- Holzwarth F., Eichhorn U. (1993) Non-Contact Sensors for Road Conditions. *Sensors and Actuators A : Physical* 37-38, 0924-4247, pp121-127.
- Kulakowski B.T., Harwood D.W. (1990) Effect of Water-Film Thickness on Tire-Pavement Friction. Predicting surface subsidence from basic soil tests. *ASTM SPT 1031*, 50-60.
- Laganier R. (1999) Mesure de la hauteur d'eau moyenne en surface de chaussées. Méthode du prélèvement. Note technique LCPC.
- Meyer, W.E., Hegmon R., Gillespie T. (1974), Locked-Wheel Pavement Skid Tester Correlation and Calibration Techniques, *NCHRP report 151*.
- Pohl A., Steindl R., Reindl L. (1999) The "Intelligent Tire" Utilizing Passive SAW Sensors—Measurement of Tire Friction, *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*, Vol. 48, N° 6.
- Yager T., Phillips W.P., Horne W. (1970) A Comparison of Aircraft and Ground Vehicle Stopping Performance on Dry, Wet, Flooded, Slush-, Snow-, and Ice-Covered Runways, *NASA Technical Note TN D-6098*.